ISSN 1975-8359(Print) / ISSN 2287-4364(Online)
The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 63, No. 6, pp. 828~833, 2014
http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2014.63.6.828

태양광발전시스템용 직류 누설전류 센서 개발

Development of DC Leakage Current Sensor for Solar Power Generation System

김 희 선* · 한 송 엽* · 한 후 석†
(Hee-Sun Kim · Song-Yop Hahn · Hoo-Sek Han)

Abstract - Grid connected transformerless solar power generation system is frequently used with the benefits of cost and efficiency. However, significant DC leakage current can flow from the DC line into the ground with dielectric breakdown in the transformerless solar power generation system. The leakage current occurred in the DC line causes accidents such as fire and electric shock on human. To resolve this problem, high sensitivity DC leakage current sensor is needed. But recently the studies on safety of DC line are not performed. In this paper, a high sensitivity DC leakage current sensor that can detect DC leakage current in solar power generation system, is proposed. Based on the studies, DC leakage current sensor is fabricated and characteristic tests are carried out. Finally, the accuracy of sensor performance is verified by leakage current experiments in solar power generation system.

Key Words : Solar power generation system, Magnetic saturation, DC leakage current sensor, Safety of electricity

1. 서 론

국내 주택용 태양광발전시스템에 사용되는 인버터의 용량은 보통 3 kW이다. 최근에는 인버터의 크기를 줄이고 가격을 저렴하게 하기 위하여 인버터와 상용전원 사이에 설치되었던 변압기를 제거하고 인버터를 상용전원에 직접 연결 하여 사용하기 시작하였다[1]. 그런데 상용전원은 1선이 접지되어 있기 때문에 태양전지의 (+)측 또는 (-)측 전선의 대지 절연이 열화되면 대지로 누설전류가 흐르게 된다. 대지로 누설전류가 흐르면 누전화재, 인체감전, 누전손실 등의 전기재해가 발생하기 때문에 이를 예방하기 위한 보호 장치가 필요하다[2,3].

이와 같은 문제를 해결하려면 20 mA급 고감도 직류 누설전류 센서가 필요하다. 그러나 현재 상용화된 직류 누설전류 센서 중 감도가 높은 것은 독일 LEM사의 전류센서 CT 0.2-P[4]가 있는데 감도전류가 200 mA이고 관통형이다. 이 센서로 20 mA급 고감도를 얻으려면 피측정 직류 전선을 센서의 중앙 홀(Hole)에 2~3회 관통시켜서 사용해야 하는 결점이 있다. 그리고 가격이 10만원 급이기 때문에 3 kW급 소형 태양광 인버터시스템에 사용하기에는 적합하지 않다.

국내에서는 태양광발전시스템이 보급 된지 얼마 되지 않았기 때문에 직류 전선로에 대한 전기설비 기술기준이 마련되어 있지 않다. 따라서 직류 전선로에 필요한 보호장치는 개발된 것이 거의 없는 실정이다. 특히 주택용 태양광발전시스템에서는 누설전류에 의한 전기화재, 인체감전 등의 위험이 있으므로 이에 대한 보호장치가 시급하다[5,6].

* Korea Electrical Engineering & Science Research Institute
† Corresponding Author : Korea Electrical Engineering & Science Research Institute.
E-mail : hhs@snu.ac.kr
Received : February 24, 2014; Accepted : May 13, 2014

본 논문에서는 태양광발전시스템의 누전보호를 위하여 (+)전선로와 (-)전선로의 직류 누설전류를 검출할 수 있는 고감도 직류 누설전류 센서를 제안하였다. 본 센서는 피측정 직류 전선로의 (+)전선과 (-)전선을 링 코어(Ring Core)의 중앙 홀(Hole)로 통과 시켜 직류 누설전류를 검출하는 관통형 구조로 되어 있다. 즉 직류 누설전류가 발생하면 링 코어에 누설전류에 해당하는 자장이 발생하고 이 자장 값이 커지면 자기포화가 일어나는 현상을 이용하였다. 본 센서에서는 누설전류의 순시치를 출력하는 것이 아니라 누설전류가 주어진 기준치, 예를 들어 20 mA를 초과하면 출력 신호를 내도록 한 것이 특징이다. 감도를 높이기 위하여 비투자율이 높은 아몰포스 코어를 사용하였다.

(+)전선로와 (-)전선로의 직류 누설전류를 검출할 수 있도록 감도전류 ±20 mA 급 직류 누설전류 센서를 설계 제작하였으며 본 센서의 성능은 공인시험기관에서 검증하였다.

2. 직류 누설전류 센서

2.1 센서의 검출 기본 원리

본 논문에서 제안하는 직류 누설전류 센서는 강자성체의 자기포화현상을 이용하는 일종의 자기센서이다. 링 코어에 측정하고자 하는 직류 누설전류가 흐르는 전선을 관통하게 하여 링 코어에 피측정 직류 누설전류에 의한 직류자속을 발생하게 한다. 이 상태에서 링 코어에 감긴 코일에 구형파 교류전압을 인가하면 코일에 교류전류가 흐르고, 이 교류전류에 의한 교류자속과 피측정 직류 누설전류에 의한 직류자속이 더해지면서 링 코어가 자기적으로 포화되어 코일의 전류가 급격히 증가하는 현상을 이용하여 피측정 직류 누설전류의 크기를 측정한다.

종래의 직류전류 측정용 자기센서는 교류전압이 양(+)의

방향일 때의 코일 전류와 교류전압이 음(-)의 방향일 때의 코일 전류와의 차이를 구하여 피측정 직류전류의 값을 측정한다. 이는 자기포화가 비교적 완만하게 생기는 영역에서 적용되므로 피측정 직류전류에 대한 감도가 낮아 미소 전류 측정에는 적합하지 않다. 위와 같은 문제를 해결하기 위하여 링 코어의 완전 자기포화 영역을 활용하여 수 mA급 직류전류까지 측정 가능한 자기센서를 개발 한다.

본 센서는 피측정 직류전류가 없을 때 코일의 전류가 자기포화 영역과 자기비포화 영역의 경계에 있도록 유지시켜 직류전류가 흐르면 즉시 코일의 전류가 급격히 증가하도록 한다.

센서에 사용되는 링 코어는 비포화 영역에서 투자율이 매우 커야한다. 검출 직류전류는 수 mA급이기 때문에 비포화 영역에서 비투자율은 십만정도 이상이어야 한다. 포화영역에서는 비투자율이 비포화영역에 비해 상대적으로 매우 작은 자기재료를 선정한다. 이것은 자기포화 영역에서 코일의 인덕턴스가 적어져서 코일의 전류를 급격히 증가시키기 위함이며 이를 통하여 비포화 영역과 포화 영역의 구분을 뚜렷하게 할 수 있다.

자기센서는 피측정 직류 누설전류가 없을 때는 자기포화가 발생하지 않고 피측정 직류 누설전류가 흐르기 시작하면 곧 바로 자기포화가 일어나야 하므로 코일에 가해지는 구형파 교류전압의 크기 및 주파수를 정확하게 유지하여야 한다.

2.2 센서의 동작 원리

그림 1은 직류 누설전류 센서의 구성도이다. 링 코어에 코일(L)을 감고 저항(R)을 연결한 후 코일에 구형파 전압(e)를 인가한다. 구형파 전압은 크기가 +E와 -E가 일정 주기로 교차하는 교류전압이고, L-R 직렬회로에 인가되었기 때문에 회로에는 구형파 교류전압에 의한 교류전류(i)가 흐른다.

링 코어의 중앙 구멍에는 피측정 직류 전선로를 통과 시킨다. 피측정 직류 전선로의 누설전류(Ig) 값에 따라 코일에 흐르는 전류가 변화하는데 이 전류의 변화로부터 누설전류의 값을 알아 낼 수 있다.

누설전류의 크기에 따른 전류의 파형은 다음과 같다. 그림 2는 누설전류가 흐르지 않을 때의 전원전압 및 회로전류의 이론파형이다. 자기회로가 포화되지 않았기 때문에 전류가 a, b 지점과 같이 갑자기 증가하는 현상이 나타나지 않는다. 그림 3은 누설전류가 그림 1에서 (+)방향으로 흘러 링 코어에 시계방향의 자속을 발생할 때의 전류의 이론파형이

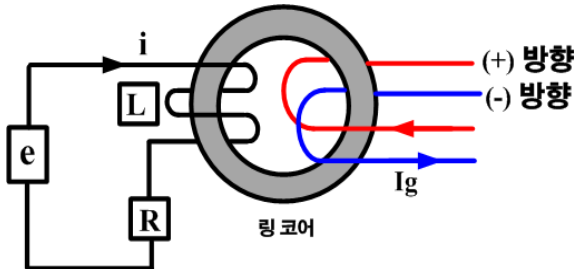


그림 1 제안된 직류 누설전류 센서 구성도

Fig. 1 Block diagram for the proposed DC leakage current sensor

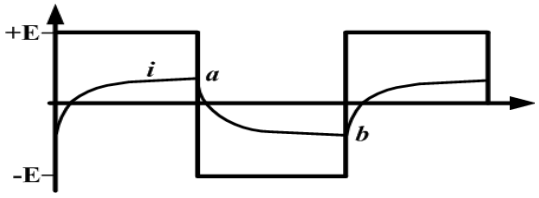


그림 2 누설전류가 없는 경우 회로전류 이론파형

Fig. 2 Theoretical current waveform when leakage current does not occur

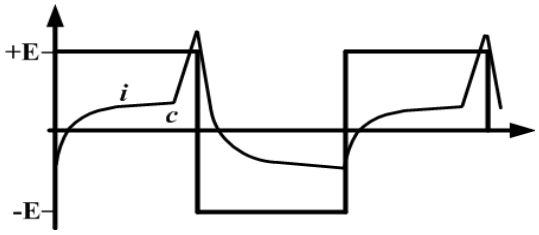


그림 3 (+)방향의 누설전류가 있는 경우 회로전류 이론파형

Fig. 3 Theoretical current waveform when leakage current does occur in positive direction

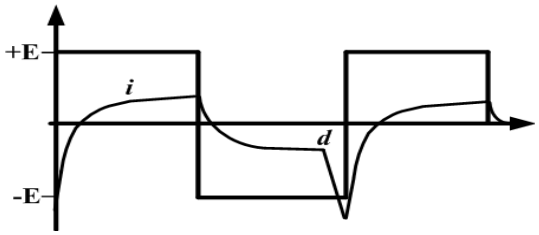


그림 4 (-)방향의 누설전류가 있는 경우 회로전류 이론파형

Fig. 4 Theoretical current waveform when leakage current does occur in negative direction

다. 전류의 극성이 정(+)일 때 전류에 의한 자속도 시계방향으로 발생하여 전류가 c점에 도달하였을 때 자기포화가 발생하고 전류가 급격히 증가한다. 그림 4는 누설전류가 그림 1의 (-)방향으로 흘러 링 코어에 반시계방향의 자속을 발생할 때의 전류의 이론파형이다. 전류의 극성이 부(-)일 때 전류에 의한 자속도 반시계방향으로 발생하여 전류가 d점에 도달하였을 때 자기포화가 발생하고 전류가 급격히 증가한다.

3. 시작품 제작 및 동작 시험

3.1 누설전류 검출 방법

누설전류를 검출하기 위하여 링 코어에 인가하는 구형파 교류전압은 디지털 회로로 구현 한다. 즉 크기가 +E와 0이 일정 주기로 교차하여 나타나는 구형파 교류전압에서 크기가 E/2인 직류전압을 감(-)하여 크기가 +E/2와 -E/2의 구형파 교류전압을 발생하여 L-R 회로에 인가한다.

전류는 그림 1의 저항의 단자에 나타나는 전압(Vr)을 마이크로프로세서로 읽어 들여 계측한다. 마이크로프로세서에서 수행하는 직류 누설전류 검출 원리는 그림 5와 같다. 구

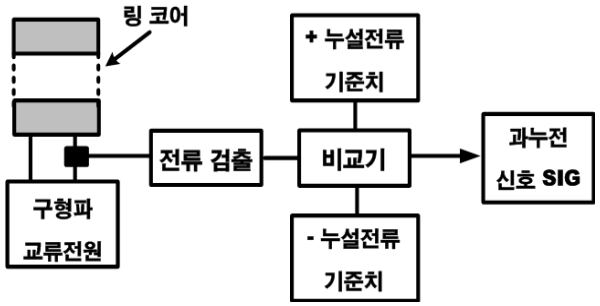


그림 5 제안된 직류 누설전류 검출방법
Fig. 5 Proposed detection method for DC leakage current

형파 교류전압이 인가된 L-R 회로로 부터 마이크로프로세로 전류를 검출하여 이 전류 값이 (+)방향의 누설전류 기준치 또는 (-)방향의 누설전류 기준치를 초과할 경우 과누전 신호 SIG를 발생한다.

3.2 시작품 제작

직류 누설전류 검출 센서의 동작원리를 확인하기 위하여 센서의 시작품을 제작하였다. 그림 6은 누설전류 센서의 시작품이다. 마이크로프로세서를 사용하여 소비전력이 적고 센서의 크기도 작은 직류 누설전류 센서를 제작하였다. 마이크로프로세는 마이크로칩사의 12F510을 사용하였다.

본 센서는 그림 12에서 보는 바와 같이 태양광발전 시스템의 인버터와 교류전원 사이를 연결하는 교류 전선로에 설치되어 사용된다. 따라서 본 센서에는 교류 전선로가 센서의 링 코어를 통과할 수 있도록 입력측 단자 IN1, IN2와 출력측 단자 OUT1, OUT2가 있다. 그리고 센서가 동작하는데 필요한 직류 5V를 연결하는 VCC 단자와 GND 단자가 있으며, 과누전 신호를 출력하는 SIG 단자로 구성된다.

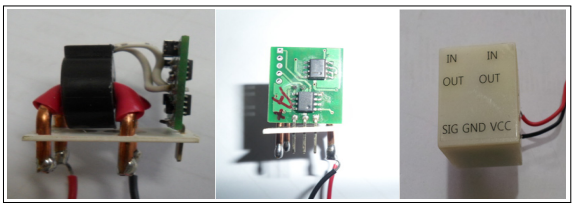


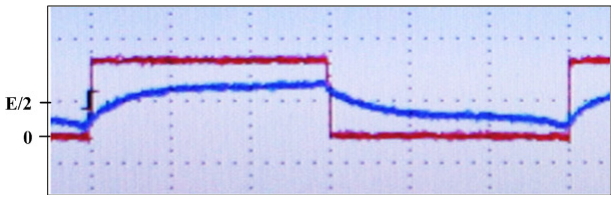
그림 6 센서의 시작품
Fig. 6 Working Sample of sensor

3.3 센서의 동작 시험

제작된 센서를 이용하여 동작 시험을 수행하였다. 그림 7은 누설전류가 흐르지 않을 때 전원전압과 회로 전류(실제에 있어서는 전압 Vr 파형)의 실험파형이다. 전압이 +E/2 구간에서는 전류는 (+)방향으로 흐르고 전압이 -E/2 구간에서는 전류는 (-)방향으로 흐른다. 따라서 링 코어에는 교류 자장 즉 (+)방향(시계 방향)의 자장과 (-)방향(반시계 방향)의 자장이 교차하여 교류 자장이 발생한다. 이때에는 링 코어가 포화되지 않아 전류가 급격히 변화하지 않는다.

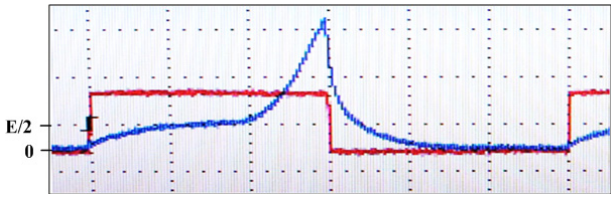
그림 8은 (+)방향으로 누설전류가 흐를 때의 전류의 실험파형이다. (+)방향의 누설전류가 흐르면 링 코어에는 이 누설전류에 해당하는 (+)방향의 직류 자장이 발생한다. 따라서 링 코어에는 이 (+)방향의 직류 자장과 전류에 의한 교류 자장이 동시에 발생한다. (+)직류 자장과 전류의 (+)방향 자장이 겹치는 구간에는 두 자장이 서로 합쳐지므로 링 코어가 포화되어 전류가 급격히 증가한다. 또한 (+)직류 자장과 전류의 (-)방향 자장이 겹치는 구간에는 두 자장이 서로 상쇄되므로 링 코어는 포화되지 않아 전류가 급격히 변화하지 않는다. 따라서 마이크로프로세서를 이용하여 전압을 검출하면 (+)방향의 누설전류가 흐르고 있음을 알 수 있다.

그림 9는 (-)방향의 누설전류가 흐를 때의 전류의 실험파형이다. (-)방향의 누설전류가 흐르면 링 코어에는 이 누설전류에 해당하는 (-)방향의 직류 자장이 발생한다. 따라서 링 코어에는 이 (-)직류 자장과 전류에 의한 교류 자장이 동시에 발생한다. (-)직류 자장과 전류에 의한 (-)방향 자장이 겹치는 구간에는 두 자장이 서로 합쳐지므로 링 코어가 포화되어 전류가 급격히 증가한다. 반면에, (-)직류 자장과 전류에 의한 (+)방향 자장이 겹치는 구간에서는 두 자장이



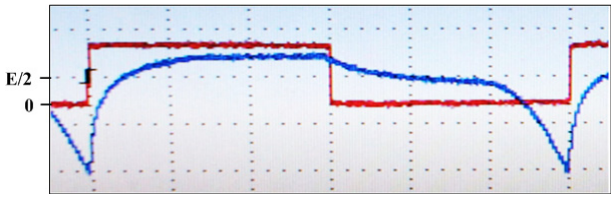
Horizontal : 500 us/div., Vertical : 5 V/div.

그림 7 누설전류가 흐르지 않는 경우 회로전류 실험파형
Fig. 7 Experimental waveform when leakage current does not occur



Horizontal : 500 us/div., Vertical : 5 V/div.

그림 8 (+)방향의 누설전류가 흐르는 경우 회로전류 실험파형
Fig. 8 Experimental waveform when leakage current does occur in positive direction



Horizontal : 500 us/div., Vertical : 5 V/div.

그림 9 (-)방향의 누설전류가 흐르는 경우 회로전류 실험파형
Fig. 9 Experimental waveform when leakage current does occur in negative direction

서로 빼지므로 링 코어는 포화되지 않아 전류가 변화하지 않는다. 따라서 마이크로프로세서를 이용하여 전압을 검출하면 (-)방향의 누설전류가 흐르고 있음을 알 수 있다.

그림 8 및 그림 9의 동작과 같이 (+)방향과 (-)방향의 누설전류가 기준치 이상 흐를 경우 마이크로프로세서의 연산에 의하여 센서에서는 과누전 신호(SIG)를 출력한다.

4. 개발 센서의 특성 시험

4.1 센서의 감도전류 시험

4.1.1 센서의 감도전류 측정

개발하고자 하는 직류 누설전류 검출 센서는 감도전류 ±20 mA 급, 정확도 ±5 %의 성능을 목표로 한다. 인버터가 내장된 태양광발전시스템과 같은 회로에서의 누설전류는 교류성분의 누설전류와 직류성분의 누설전류가 동시에 발생된다. 이와 같은 특성의 시스템에 본 센서를 적용하기 위하여 직류와 교류가 합쳐진 누설전류가 흐르는 회로에서 본 직류 누설전류 검출 센서의 특성을 시험하였으며 결과는 표 1과 같다. 본 실험은 센서에 60 Hz 정현파 교류전류와 직류전류를 흘려주어 센서에서 과누전 신호가 검출되는 전류 값을 측정한 결과이다. 제작한 센서 시료 5개에 대하여 특성시험을 수행하였다.

표 1에서 교류전류 없이 (+)방향 직류전류만 흘렀을 때 감도전류의 평균치(B)는 19.4 mA이고 편차(C)는 (+)0.9에서 (-)0.8 mA이다. 또한 (-)방향 직류전류만 흘렀을 때 감도전류의 평균치(B)는 (-)19.0 mA이고 편차(C)는 (+)0.4에서 (-)0.6 mA이다. 누설전류 검출 평균치(B)는 감도전류 설계 목표치인 ±20 mA에 대하여 ±1 mA의 오차이내로서 정확도(D)가 ±5 % 이내임을 검증할 수 있다. 여기서 정확도 D=(B-20 mA)/20 mA×100 % 으로 계산하였다.

표 1 센서 감도전류 측정 결과

Table 1 The measurement results of sensor current sensitivity

극성	시료	AC / DC	교류전류[mA] 0	5	10	15	20	25
(+) 방향	1	직류 전류 [mA] (A)	20.3	15.6	12.3	10.1	8.5	7.4
	2		18.6	14.1	10.9	8.9	7.3	6.4
	3		19.9	15.1	11.9	9.7	8.0	6.9
	4		19.3	14.9	11.8	9.7	8.2	7.3
	5		19.0	14.7	11.5	9.2	7.6	6.6
	평균치(B)		19.4	14.9	11.7	9.5	7.9	6.9
	편차(C) [C=A-B]		+0.9 -0.8	+0.7 -0.8	+0.6 -0.8	+0.6 -0.6	+0.6 -0.6	+0.5 -0.5
	정확도(D)		±5 % 이내	-				

극성	시료	AC / DC	교류전류[mA] 0	5	10	15	20	25
(-) 방향	1	직류 전류 [mA] (A)	19.4	14.1	10.1	7.3	5.5	4.2
	2		18.7	13.5	9.6	7.3	5.5	4.5
	3		19.2	13.8	10.2	7.6	5.8	4.5
	4		18.4	13.4	9.7	7.1	5.4	4.2
	5		19.1	14.1	10.2	7.5	5.6	4.4
	평균치(B)		19.0	13.8	10.0	7.4	5.6	4.4
	편차(C) [C=A-B]		+0.4 -0.6	+0.3 -0.4	+0.2 -0.4	+0.2 -0.3	+0.2 -0.2	+0.1 -0.2
	정확도(D)		±5 % 이내	-				

4.1.2 감도전류 특성 곡선

표 1을 보면 직류전류와 교류전류가 중첩되어 흐르는 경우의 감도전류는 교류전류 값이 증가할수록 직류 감도전류는 감소함을 알 수 있다. 그림 10은 직류 누설전류 센서에 직류전류와 교류전류를 동시에 흘린 경우 감도전류를 나타낸 그림이다. 즉 표 1의 평균치(B)를 그림으로 나타낸 것이다. P곡선은 (+)방향의 누설전류 발생 시의 특성이며 N곡선은 (-)방향의 누설전류 발생 시의 특성곡선이다. R1, R2, R3 점선은 각각 직류전류와 교류전류가 합쳐진 전류의 실효치가 15 mA, 20 mA, 25 mA인 곡선이다. 즉, 감도전류 특성곡선은 P곡선과 N곡선을 기준으로 우측 영역인 감도전류 이상의 누설전류가 발생 시 누전을 검출 할 수 있음을 나타낸다. 따라서 본 센서는 직류 누설전류와 교류 누설전류가 동시에 흐르는 전선로에 사용하는 경우 과누전 신호가 합성 누설전류 실효치 R1과 R3 영역 사이 값인 15 내지 25 mA 사이에서 과누전 신호가 출력됨을 알 수 있다.

본 센서는 감도저항(R, 그림 1 참고)을 변화하면 감도전류 값을 증가 또는 감소 조정 가능하다.

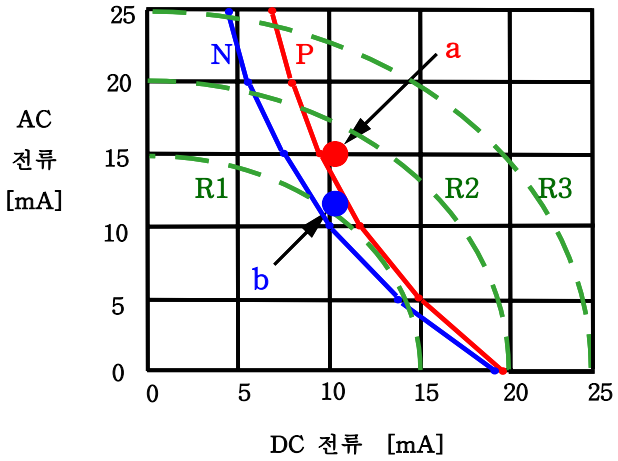


그림 10 감도전류 특성 곡선

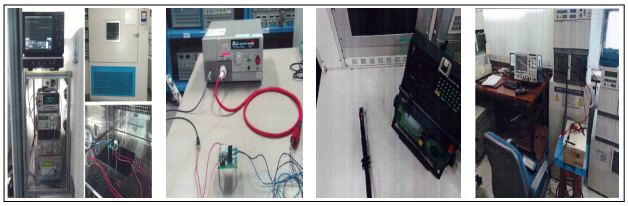
Fig. 10 Characteristic curves of current sensitivity

4.1.3 센서의 신뢰성 시험

본 센서의 신뢰성을 검증하기 위하여 한국기계전기전자시험연구원에 의뢰하여 센서의 특성 시험을 수행하였으며 시험성적서를 발급 받았다(성적서 번호: 신뢰성2014-00004). 시험 항목은 동작 온도 시험, 내전압 시험, 절연저항시험, 뇌임펄스 시험, 서지내성 시험이다. 동작 온도 시험은 온도에 따른 센서의 정상 검출 여부를 확인하기 위함이며 각 온도 조건에서 가변 직류전류의 정상 검출을 측정하였다. 또한 센서의 절연 양부를 검증하기 위하여 내전압 시험과 절연저항시험, 뇌 임펄스 시험을 수행하고, 외부의 환경(정전기, 서지, 전압 변동 등)에 의해 본 센서의 정상 동작 여부를 측정하기 위하여 서지내성 시험을 수행하였다. 각 항목의 적합성 판정은 국제규격인 IEC61010-1(측정, 제어 및 연구실용

표 2 신뢰성 시험 결과
Table 2 The measurement results of reliability

시험 항목	시험 조건	구분			측정 결과
동작 온도 시험	(-)20±3 ℃	(+)방향			정상 검출
		(-)방향			정상 검출
	85±2 ℃	(+)방향			정상 검출
		(-)방향			정상 검출
내전압 시험	2.5 kV 60 Hz 60 sec	센서입력부 사이(IN1-IN2)			절연파괴 없음
		센서입력부(IN1-IN2단락)와 외함 사이			절연파괴 없음
절연저항 시험	DC 500 V 60 sec >500 MΩ	센서입력부 사이(IN1-IN2)			250 GΩ 이상 (적합)
뇌 임펄스 시험	1.2/50 us 6 kV	시험전압 인가: 센서입력부 사이 (IN1-IN2) 측정부 : 센서출력부 사이 (OUT1-OUT2)	6 kV	(+)방향	6.08 kV (적합)
				(-)방향	(-)6.00 kV (적합)
서지내성 시험	1.2/50 us 2, 4, 6 kV		2 kV	(+)방향	2.02 kV (적합)
				(-)방향	(-)2.00 kV (적합)
			4 kV	(+)방향	3.94 kV (적합)
				(-)방향	(-)3.97 kV (적합)
			6 kV	(+)방향	6.04 kV (적합)
				(-)방향	(-)6.00 kV (적합)



(a) (b) (c) (d)

(a) 동작 온도 시험, (b) 내전압 시험, (c) 절연저항시험, (d) 서지내성 및 뇌임펄스시험

그림 11 한국기계전기전자시험연구원에서의 시험 사진
Fig. 11 Test pictures at Korea Testing Certification

전기기기의 안전요구사항)과 유럽규격인 EN 50178(전원 설치에 사용되는 전자장비 기준)을 기준으로 한다. 각 시험 항목의 시험 조건 및 시험 결과는 표 2와 같으며, 시험사진은 그림 11과 같다. 표 2의 측정 결과로부터 각 시험 조건을 만족함을 확인하였으며, 본 센서의 신뢰성을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

4.2 인버터 회로 시험

4.2.1 실험 시스템 구성

개발한 직류 누설전류 검출 센서의 성능을 인버터가 동작하는 실제 시스템에서 검증하기 위하여 태양광발전시스템에 직류 누설전류 실험 시스템을 구성하였다. 누설전류 측정용 태양광발전시스템의 구성도는 그림 12와 같다. 실험용 시스템은 태양전지 PV, Hexpower System사의 태양광용 인버터, 개발한 직류 누설전류 센서, 누설전류의 파형을 관측하기 위한 독일 LEM사의 전류센서(CTSR 0.3-P), 상용전원, 누설 가변저항(Ra), 직류 및 교류전류계, 접지저항(Rg)로 구성된다. 인버터는 대지로 접지(ETH)하였으며, 직류 및 교류 전류계는 Autonics사의 M4Y Series 계측기를 사용하여 디지털 값으로 측정하였다. 태양전지에서 발생된 직류전압은 기후조건에 따라 가변되어 인버터를 통하여 계통에 공급되는 발전량이 2~3 kW일 때의 계측결과이다.

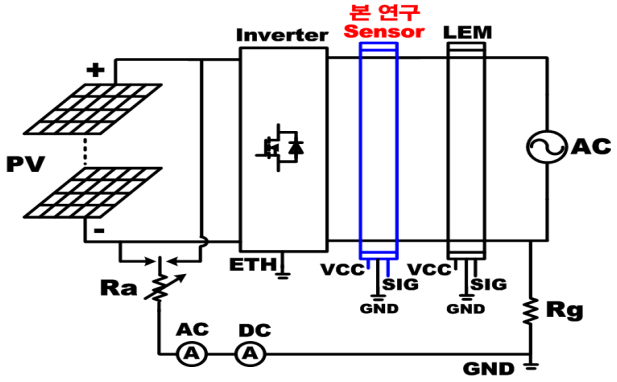


그림 12 태양광발전시스템의 누설전류 실험 회로의 구성
Fig. 12 Block diagram of leakage current test circuit for solar power generation system

실험 장치의 사양 및 실험 시 사용한 파라미터는 표 3과 같다.

표 3 실험장치의 파라미터
Table 3 Parameters of experimentation setup

PV모듈 정격	3 kW	인버터 정격	3 kW
Ra	5~20 kΩ	Rg	66.7 Ω
Vdc	200~300 V	Vac	220 V

4.2.2 실험결과

그림 13은 태양광 모듈의 (+)전선로에서 누전이 발생한 경우 누설전류 파형과 센서의 출력 신호(SIG) 파형이다. 그림 13의 상단파형은 상용전원이고 중간파형은 LEM사 전류센서로 계측한 누설전류 파형이며 하단파형은 직류 누설전류 센서의 출력 신호 파형이다. 누설저항이 12 kΩ일 때에 과누전 신호가 발생하였으며, 이때의 누설저항 양단 직류전압은 135 V, 직류 누설전류 계측치는 10.8 mA, 교류 누설전류 계측치는 15 mA이었다. 이 상태는 그림 10에서 a점에 해당한다. 그림 14는 태양광 모듈의 (-)전선로에서 누전이 발생한 경우 누설전류 파형과 센서의 출력 신호 파형이다. 누설저항이 10 kΩ일 때에 과누전 신호가 발생하였으며, 이때의 누설저항 양단 직류전압은 (-)105 V, 직류 누설전류 계측치는 (-)10.7 mA, 교류 누설전류 계측치는 12.4 mA이었다. 이 상태는 그림 10에서 b점에 해당한다.

또한 (+)전선로에서 누전이 발생한 경우에는 (+)직류분이 발생하고 (-)전선로에서 누전이 발생한 경우에는 (-)직류분이 발생하는 것을 알 수 있다.

이상의 시험결과로부터 본 논문에서 제안한 직류 누설전

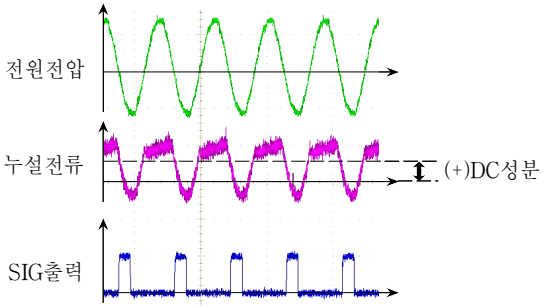


그림 13 PV(+) 접지시 전압 전류 파형
Fig. 13 Experimental results at PV(+) Grounding

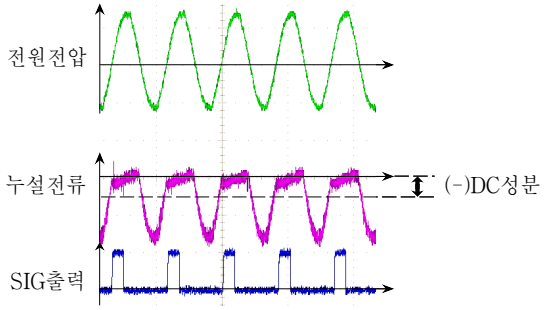


그림 14 PV(-) 접지시 전압 전류 파형
Fig. 14 Experimental results at PV(-) Grounding

류 검출 센서는 직류누설전류와 교류누설전류가 동시에 흐르는 교류전선로에서도 누설전류를 비교적 정확하게 검출함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 태양광발전시스템과 같은 직류 전선로에서 발생하는 직류성분의 누설전류를 검출할 수 있는 고감도 직류 누설전류 센서 개발에 관하여 연구하였다. 자기회로의 포화현상을 바탕으로 직류 누설전류 검출 센서를 구성하였으며, 감도전류 ±20 mA 급, 정확도 ±5 % 이내의 센서를 설계하였다.

설계한 센서의 시작품을 제작하여 센서의 기본 특성시험을 수행하였으며 태양광발전시스템의 교류측에 설치하여 시험한 결과 누전 발생 시 감도전류 조건을 만족하며 정상적으로 과누전 신호를 발생함을 확인하였다.

본 실험결과를 통하여 태양광발전시스템에 본 연구에서 제안된 직류 누설전류 센서를 적용함으로써 태양광발전시스템의 전기 안전을 확보할 수 있음을 입증하였다.

References

[1] Roberto Gonzalez, Jesus Lopez, Pablo Sanchis, and Luis Marroyo, “Transformerless Inverter for Single-Phase Photovoltaic Systems”, IEEE TPEL Transactions, pp. 693-697, 2007.

[2] Xiaomeng Su, Yaojie Sun, and Yandan Lin, “Analysis on Leakage Current in Transformerless Single-Phase PV Inverters Connected to the Grid”, Power and Energy Engineering Conference, pp.1-5, 2011.

[3] T. Tran-Quoc, H. Colin, C. Duvauchelle, B. Gaiddon, C. Kieny, C. LE Thi Minh, S. Bacha, S. Aissanous, G. Moine, and Y. Tanguy, “ Transformerless Inverters and RCD: What’s the Problem?”, 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, pp.4554-4559, 2010.

[4] Data Sheet, Current Transducers CT 0.2-P, LEM Inc..

[5] Hyejin Kim, Jongbok Baek, Gabsu Seo, Kyusik Choi, Hyunsu Bae, and Bohyung Cho, “Research on Earth Leakage Circuit Breaker for DC-Based Green Home”, KIPE Power Electronics Conference Proceedings, pp. 76-77, 2010.

[6] Heesun Kim, Songyop Hahn, Dongsub Jeon, Daehyun Shin, and Hoosek Han, “Study on the Influence of DC Leakage Current for Residual Solar Power Generation System”, International Smart Grid Conference & Exhibition, pp.370-375, 2013.

저 자 소 개

김 희 선 (金 姬 善)

2009년 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2011년 동 대학원 전자전기공학과졸업(석사). 2011년~2012년 LS산전 자동화제품연구소 연구원. 2012년~현재 기초전력연구원 선임연구원.

한 송 엽 (韓 松 曄)

1963년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1967년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1979년 프랑스 로렌공과대학 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1985년~1986년 프랑스 그레노블대학 방문교수. 1995년~1998년 한국전기연구원 이사. 1994년~1998년 한국전력공사 이사. 1968년~2004년 서울대학교 공과대학 전기공학과 교수. 2004년~현재 서울대학교 명예교수.

한 후 석 (韓 后 錫)

1987년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 의용생체계측공학과 졸업(공박). 1990년~현재 기초전력연구원 수석연구원/연구처장.